

# 《助推计划》高校转化项目登记表

日期：

编号：ZB1401JD

项目名称	整体叶轮五轴联动高效加工技术	所属领域	<input checked="" type="checkbox"/> 先进重大装备 <input type="checkbox"/> 新材料 <input type="checkbox"/> 新能源 <input type="checkbox"/> 生物医药 <input type="checkbox"/> 电子信息制造 <input type="checkbox"/> 新能源汽车 <input type="checkbox"/> 海洋工程装备 <input type="checkbox"/> 软件和信息服务 <input type="checkbox"/> 民用航空制造 <input type="checkbox"/> 其它
院校名称	上海交通大学 (盖章)		
项目成熟度	<input type="checkbox"/> 已实现产业化，产品供不应求 <input checked="" type="checkbox"/> 已实现小批量生产，产品有市场需求 <input type="checkbox"/> 已通过中试鉴定 <input type="checkbox"/> 处在中试阶段		
技术水平	<input type="checkbox"/> 国际领先 <input checked="" type="checkbox"/> 国际先进 <input type="checkbox"/> 国内先进 <input type="checkbox"/> 一般水平		
推广范围	<input type="checkbox"/> 国际推广 <input checked="" type="checkbox"/> 国内推广 <input type="checkbox"/> 区域推广 <input type="checkbox"/> 特定地区推广		
知识产权状态	<input type="checkbox"/> 授权国外有效发明专利 <input checked="" type="checkbox"/> 授权国内有效发明专利 <input type="checkbox"/> 国内有效实用新型专利 <input type="checkbox"/> 其它知识产权		
项目获奖情况	无	各类基金 资助情况	国家自然科学基金和总装备部预言项目
是否具有以下资料	<input type="checkbox"/> 项目可行性报告 <input type="checkbox"/> 查新报告 <input type="checkbox"/> 鉴定证书 <input checked="" type="checkbox"/> 检测报告 <input type="checkbox"/> 认定证书 <input checked="" type="checkbox"/> 用户意见 <input checked="" type="checkbox"/> 实物样品		

课题组简介：（概述研发优势和成功案例等。）

**研发优势：**

课题组长期从事整体叶轮五轴数控加工和数控机床的研究与开发工作，承担了国家自然科学基金、863、973 和总装预言等整体叶轮方面的基础研究项目，取得了一批有国际影响的研究成果：(1)提出了自由曲面非球头刀宽行数控加工的几何学原理和刀位规划方法，CIRP Fellow 法国学者 Bernard 教授在综述论文中将其列入该领域“1979-2012 年发展路线图”，评价为“创新和令人振奋的工作”；(2)提出了数控铣削加工稳定性判别的高效通用方法—全离散法，加拿大两院院士、频域法创始人 Altintas 教授评价其“能更准确地预报薄壁件铣削稳定性”；(3)建立了散乱点云曲面逼近的统一方法体系，几何误差评定算法被意大利学者 Moroni 教授评价为“远胜其他方法，计算速度最快、最有前景”。研究成果出版专著 1 部，在 ASME、IEEE 会刊、《中国科学》等国内外权威学术期刊发表 SCI 论文 30 余篇，获国家自然科学基金二等奖 1 项、省部级自然科学一等奖 2 项和中国国际工业博览会铜奖，已授权发明专利 5 项，软件著作权 4 项。

**成功案例：**

- 1) 应用于中国南方航空动力机械集团公司，将航空涡轴发动机直径 236mm 镍基高温合金(GH4169)整体叶轮的加工时间从 250 小时减少到 90 小时，加工质量满足了设计要求，该叶轮已应用于航空涡轴发动机的研制；
- 2) 应用于我国唯一的大型液体火箭发动机专业生产厂——西安航天发动机厂，将直径

300mm 整体变螺距诱导轮的加工时间从 280 小时减少到 65 小时,加工质量满足了设计要求, 已将成套工艺应用于火箭发动机诱导轮的批量生产。

- 3) 应用于德国博格华纳等著名涡轮增压器公司的叶轮加工, 将 60mm 涡轮增压器叶轮的加工时间降低到 10 分钟, 并通过原位测量技术, 满足了国际质量标准。



航空发动机整体叶轮



航天发动机变螺距诱导轮



涡轮增压器整体叶轮

图 1. 加工的零件

项目简介: (项目背景、政策导向、应用领域和服务对象、项目进展情况、成熟程度以及项目预计产业化周期、项目鉴定或产品检测报告的结论性表述。如是生物医药项目, 写明是否具有临床批文和药证等文件。)

### 项目背景与政策导向

叶轮机械具有高能量密度和重量轻的优势, 广泛应用于航空、航天、运输、石油、化工等行业。压缩机叶轮利用高速旋转的叶片给流体做功以提高流体压力, 是决定叶轮机械工作性能的关键零件。中小型叶轮(直径 10 毫米-1 米)往往将叶片和轮盘设计为一体, 称为整体叶轮。由于整体叶轮的面型扭曲性、流道复杂性和薄壁低刚性, 使其高效高精度加工技术成为国际性难题。

整体叶轮类零件五轴高效加工技术符合国家中长期科学技术发展规划要求和国家产业政策。我国在该领域进行了较大科研投入, 如上海交通大学参与的国家 973 项目“难加工航空零件的数字化制造基础研究”和国家 863 重点项目“涡轴发动机整体叶轮高效加工技术与仿真优化”和总装预言项目“航空叶盘/叶轮五轴联动高效精密加工工艺及优化”等。

### 应用领域与服务对象

整体叶轮五轴加工已成为众多应用的关键支撑技术。整体叶轮是航空发动机压气机实现结构创新的核心部件, 其加工技术是我国正在论证的“航空发动机与燃气轮机”国家重大科技专项关注的重点之一, 航天“百箭百星”高密度发射和重型火箭的研制需要突破大型变螺距诱导轮和整体叶轮高效加工技术。涡轮增压器是我国包括车用发动机在内的内燃机的急需和创新的重点, 传统的铸造叶轮已难以满足高增压比和高转速的需求, 但目前铣削叶轮效率低、价格高, 成为阻碍增压器产业升级的瓶颈之一。

### 项目进展情况及成熟度:

已掌握了关于整体叶轮制造的数项核心技术, 在航空、航天和汽车领域获得了应用, 并获得了相关知识产权 9 项。

#### 1) 高速五轴联动加工机床

高速五轴联动加工的核心是旋转功能部件, 其核心主要是高性能蜗轮蜗杆传动系

统。上海交通大学突破其核心技术，包括啮合分析和三维建模、蜗杆高精度加工工艺、精度评价标准和检测方法、动态啮合性能预测，并开发包络环面蜗杆制造软件，已经基于此项技术开发了五轴联动加工中心，获得中国国际工业博览会铜奖。

## 2) 五轴联动高效加工工艺

在航空叶轮、汽轮机叶片、导弹叶盘和潜艇螺旋桨的五轴数控加工方面开展大量的研究工作，在夹具设计与优化、数控编程技术、动力学仿真和工艺优化方面做了长期的技术积累，相关软件通过了上海市软件评测中心的鉴定：提供了类直纹面侧铣加工功能，克服了现有叶轮加工专用 CAM 软件仅能处理直纹面叶片五轴侧铣加工的局限，逼近精度是现有商业软件的 6 倍，并提供了商用软件没有的快速退刀和切宽控制功能。成套技术已经应用于航空和航天整体叶轮的加工，效率提升 2.7-4 倍。

### 预计产业化周期

产业化预计 3 年完成，第一年结合上海交大的已有成果和企业实际，进行高速机床优化设计、高速回转工作台和五轴加工工艺研制，实现加工质量达到整体叶轮的国际质量标准。第二年在已有平台的基础上研发调试高速高精度数控系统及厚度原位检测与在线补偿技术，进一步提高叶轮加工质量及生产效率。第三年进行整体叶轮加工技术的标准化和市场推广。

### 产学研提升

本技术的顺利转化将带动课题组五轴相关技术的研发，激励课题组成员研究更多整体叶轮高效精密加工技术。在转化经费的支持下，课题组将深入研究五轴数控装备设计、叶轮加工工艺以及叶轮原位测量与补偿的基础理论与技术。

技术特点：（项目的技术特征和优势，可与国内或国际现有技术进行比较。）

项目针对国内整体叶轮制造技术的以下不足进行研发和产业化：

(1) 在数控装备设计与制造方面，我国现有的数控机床较少考虑工艺系统的动态特性和强切削力时变效应对加工系统的影响，缺乏对工艺系统响应过程实时监测，往往导致五轴数控机床不能满足复杂零件的高速高精度加工要求。项目将进行机床与工艺系统交互作用下的动力学仿真与机床优化设计，为高动态性能机床设计提供理论依据，进行基于滚动摩擦的高速回转传动件设计与制造，实现高刚性、高速回转传动核心传动件的技术突破。

(2) 在加工工艺方面，我国由于受到传统“重主机、轻配套”思路的影响，在工艺软件研发方面落后很多。以整体叶轮加工为例，我国叶轮加工以点铣为主，加工效率低，表面质量差；加工后采用传统测量，只能用于检验加工完成后产品的质量，如果检验不合格，则无法修复，只能将零件报废，严重影响企业生产进度，并造成极大的浪费。项目将研发推广整体叶轮五轴线接触侧铣加工工艺，开发整体叶轮侧铣加工专用软件，用高效的线接触加工取代点接触加工，并研究高精度全自动夹具和整套工艺系统。

(3) 在原位测量方面, 虽然数控系统提供了在线测量功能, 但是其目前仅适用于简单的几何轮廓, 不能实现曲面零件的在线测量以及补偿。项目将研究叶轮质量的原位检测与质量控制, 将测量数据反馈到 CAD 模型, 组成加工中的闭环数据传递, 修正装夹、刀具磨损和加工误差, 实现高精度加工, 研究原位测量系统、测量工艺软件及数据处理与补偿系统, 实现加工过程的实时检测与补偿功能。

市场前景: (市场规模、市场占有率、市场进入壁垒、市场竞争等状况。)

压气机增压技术是广泛应用于航空发动机、航天发动机和汽车发动机中的关键技术, 整体叶轮是决定压气机工作性能的核心零件。我国正处于航空发动机、航天发动机和汽车发动机大量生产阶段, 需要大量的高质量整体叶轮。

以涡轮增压器整体叶轮为例, 全世界汽车涡轮增压器配装率逐年迅速增加, 市场不断扩大, 使得其核心部件整体叶轮的需求量也随之快速增长。预计 2015 年全球年需求量将达 4000 万个, 价值 40 亿元。目前中国汽车用涡轮增压器铣削叶轮几乎全部依赖进口。中国 2011 年汽车年产量 1850 万辆, 2030 年将达到 7500 万辆, 汽车用涡轮增压器叶轮及未来航空发动机叶轮将是一个年需求近千亿元的大行业。然而, 由于我国整体叶轮技术的落后, 叶轮加工质量差, 加工效率只有国际先进水平的四分之一所示, 无法达到国内和国际市场的要求, 急需全面提高整体叶轮加工技术。

目前国内市场竞争状况如下:

(1) 国外专用设备价格昂贵, 需要巨额投资才能建立生产线。以叶轮生产线上最为关键的五轴联动加工中心为例, 由于我国五轴联动加工中心的生产量和性能指标离市场需求有较大差距, 因此五轴联动加工中心大量依赖进口。而一台较好的五轴联动加工中心的进口价格在 500-800 万元, 再加上其他设备如精密数控车床, 工业机器人, 专用夹具等, 一套生产线通常需要巨额投资才能建立, 一般的制造企业难以承受。

(2) 国外专用设备缺乏叶轮高效加工工艺, 先进设备只能低效运行。五轴联动加工中心在曲面加工领域具有独特优势, 广泛应用于复杂精密零件加工, 我国也因此大量引进。然而在使用过程中, 由于缺乏高效加工工艺, 存在效率低下的问题。如, 叶轮曲面大量采用点铣加工, 加工效率低, 表面质量差, 后续打磨工作量大; 大量使用离线测量, 无法在加工过程中发现问题并进行补偿, 导致废品率高; 采用保守的恒定进给加工技术, 无法根据机床的性能, 切削过程进行加工速度的动态规划, 加工效率低、成本高。

针对这一状况, 上海交大提出了一整套五轴加工解决方案, 成本只是欧美同类产品价格的五分之一, 技术水平达到国际先进水平。叶轮五轴机床研制成功后, 由于性价比优势

和服务优势，中国一些民企厂商购买机床，促进产业升级换代，自主生产涡轮增压器铣削叶轮，替代进口，将提升中国的制造水平。同时为中国创造了一个年需求近百亿元的叶轮加工行业，其极大增加税收、就业、社会财富等各方面的社会效益。

经济和社会性效益：

1.该项目产业化最低投资金额，包括研发投资，生产资料投资，流动资金等；

该项目产业化最低投资金额为 200 万元，包括技术转让费用 50 万元，原辅料购买 90 万元，工资性支出 30 万元，设备费 10 万元。

2.对环保和能源要求，土地或厂房面积要求，所需职工人数；

该项目属于设备制造和工艺研发，不涉及环保问题。土地和厂房可利用现有厂房，新增职工约 5 名。

3.根据最低投资，预期投产后三年内能达到的年产值、年销售值、年利润；

本项目产业化后，预计 2016 年五轴机床和技术服务将达到销售收入 1000 万元，利润 200 万元以上，2020 年销售收入将达到 1.1 亿元。本项目不仅带动周边相关高科技产业的发展，形成产业集群，提升上海及周边地区的高端装备制造水平，而且使周边数百个机械零件加工厂商直接受益。

4，投资回收期限（年）。

3 年

合作要求：1. 合作方式、对合作方及合作价格的要求。

目前上海拓璞数控科技有限公司已就本技术与课题组进行了初步合作，该公司成立于 2007 年，注册资本 1750 万元，高新技术企业，主要从事数控机床和航空航天定制装备开发业务，筹建了上海市特种数控装备工程技术研究中心，完成了 VMC-C20、VMC-C30 等多个五轴联动数控加工中心产品的研制，成为国内机床型号与规格最全的五轴数控机床生产商。双方正就整体叶轮加工技术的合作方式及转让费用进行协商，希望能在助推计划支持下促成本项目的实施。

注：请另行提供项目照片 1-2 张并标注说明，用于项目推介，像素一般在 1M 以上。

上表所填资料必须真实、完整、合法。